

理解尊重與創新

論桃園國際機場第一航廈增建案

Understanding, Respect and Innovation

Expansion of the Taoyuan International Airport, Terminal One

■ 文、圖／畢光建 By Bee Kuang-Chien

桃園國際機場第一航廈完成於1979年，由華裔結構專家林同棧（T. Y. Lin），採用當時最先進的預力結構系統設計而成。2004年，日本建築師團紀彥（Norihiko Dan）經由觀光局舉辦的「門戶系列國際競圖」，取得本案的設計權，配合的在地建築師是許宗熙建築師，團紀彥的結構工程師是有名的渡邊邦夫先生，本地配合的結構技師是張盈智結構技師，第一航廈的增建工程於2013年七月底完工，歷時九年（圖1）。林同棧的桃園機場航廈的短向剖面上可以看見清楚的中心線（Center Line），建築形式以此中心線左右對稱，結構完整對稱，功能上也採用對稱形式，一側為抵達（Arrival），一側為離開（Departure）（圖2）。第一航廈的增建案沿用此設計原則，維持既有的功能安排，對稱增建新區，滿足空間需求（圖3）。在此承襲自既有



建築的大架構下，團紀彥建築師提出建築上與結構上的詮釋與創新，並展現深刻的設計概念與明確的環境態度。

沙里南與林同棧

沙里南的原創性

30多年來，桃園國際機場第一航廈一直背負著設計抄襲的罪名（圖4），因為它看起來讓人不能不聯想到美國建築師沙里南（Eero Saarinen）在維琴尼亞州的杜勒斯機場（Dulles Airport, 1958-1962）的航站大廈（圖5），事實上也是如此，可是這個「抄襲」非同一般，而且成就非凡，需要說明清楚。

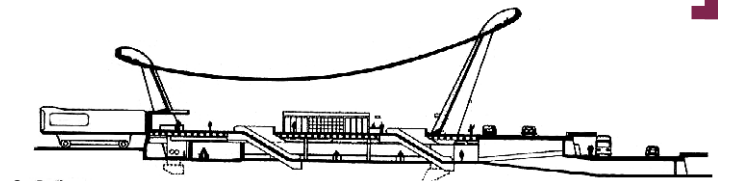
沙里南的杜勒斯機場航站大廈屋面龐然，雖是鋼筋混凝土構造，卻輕盈欲振，如鵬鳥將去，過目難忘。如果將屋頂打開，檢視其結構與構造，則內容更為驚人。機場航站大廈共用列柱32支，分列兩行，戲劇性的16雙反向外傾的斜柱倒提著一大片弧面屋頂（圖6）。180米長的條狀建築，平行飛機跑道，面跑道的16支斜柱較高，另16支斜柱較低。斜柱穿過弧面屋頂邊緣的圓孔（圖7），輕輕的「銜著」單薄的弧面屋頂。弧面屋頂兩側的邊緣雖然單薄，它確是兩片佈滿鋼筋的「連續版梁」（圖8），不僅負責兩側各16支斜柱長向的穩定性，同時在短向上拉拔著跨距45米（150英尺）的122條懸垂鋼纜（Suspended cable），因此，利用兩側立柱帶著兩片板梁反向外傾，來平衡屋面的垂直重力（圖6）。大屋頂的單間（bay）尺寸是12m x 45m（40' x150'），臨柱間距12米，柱間的「連續版梁」上懸吊5雙鋼纜（鋼纜直徑1吋，2.5公分），均分四間，每間3米。兩雙鋼纜間置放預鑄輕質混凝土雙T板（圖9），雙T板尺寸約3米x 1.8米x 0.2米高，它同時是未來澆灌RC弧梁的局部模板，現場澆灌的RC弧梁內包裹著一對鋼纜及其它傳統鋼筋，RC提供鋼纜硬度，避免搖晃。雙T板下方黏著4cm厚冷凍板隔熱層（Rigid insulation），上方採外露式合成橡膠防水毯（Neoprene）。複雜精彩的構造隱藏在弧型沙網水泥粉光（Plastering）的天花之後。

林同棧的設計命題

林同棧的桃園國際機場第一航廈共用列柱30支，羅列兩

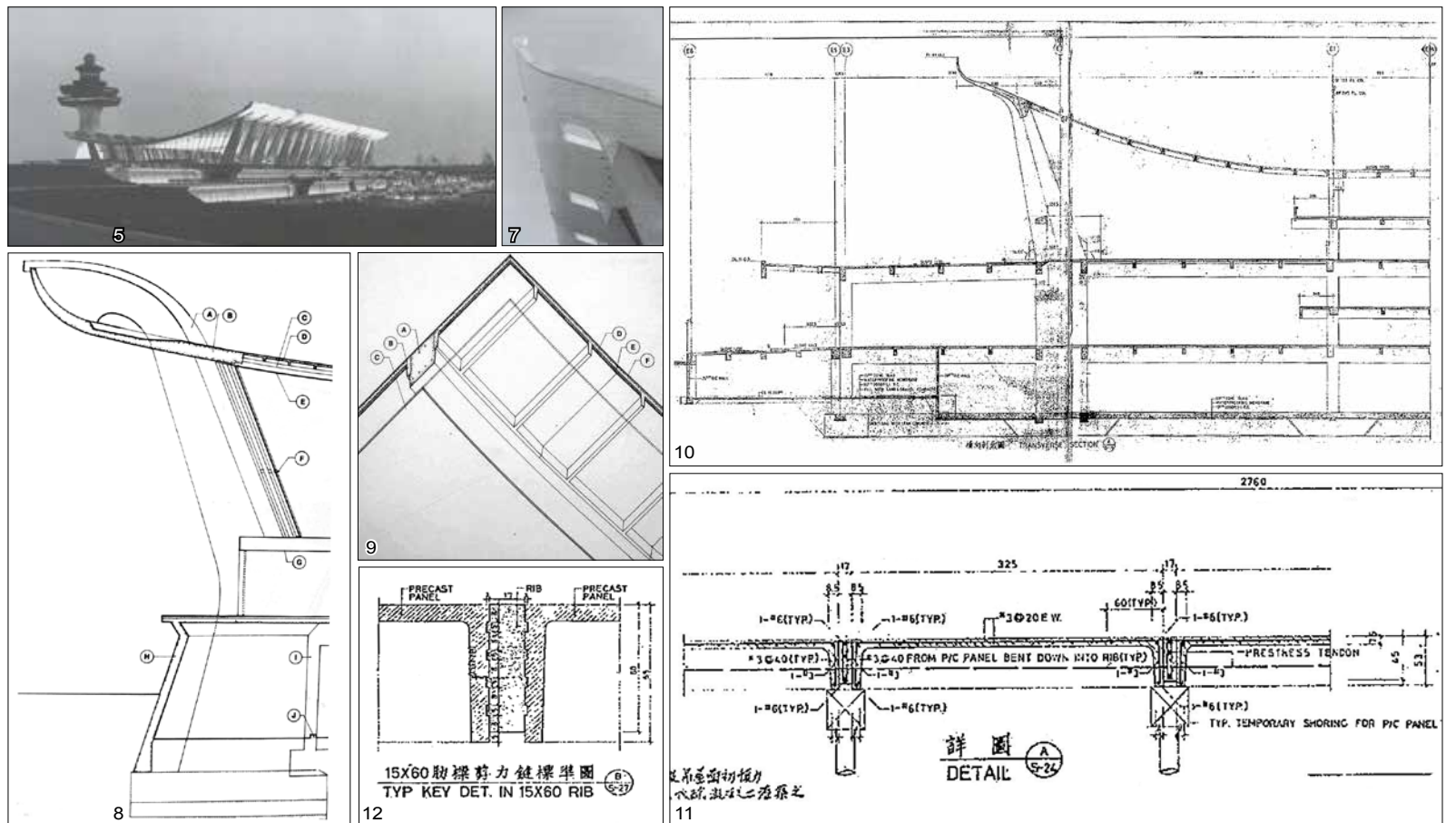
團紀彥的桃園機場第一航廈增建案，不僅理解由沙里南到林同棧的建築思維，更且尊重林同棧賦予的建築形式。在此重要的結構主題上，團紀彥使用鋼材對位鋼筋混凝土，是綠色思維也是時代精神……

Inheriting Eero Saarinen and Lin Tung-Yen's ideas, and Lin's forms, Dan applied steel to correspond the concrete as his interpretation of the zeitgeist of the green era.



鋼筋混凝土懸垂梁，兩側的預鑄水泥方型藻井的側牆，作鋸齒狀溝槽，將懸垂梁與預鑄水泥藻井扣合（圖12），形成單體整塊（Monolithic）的結構。

全屋頂共用去1,334（23 x 58）塊預鑄水泥方型藻井，要將這巨量的單元水泥塊結構成一弧面屋頂，除了短向的鋼筋混凝土懸垂梁將兩側的方型藻井抓住外，林同棧在屋頂的長向使用了20支預力鋼鍵（Pre-stressed tendon），同樣的置於預鑄水泥方型藻井之間，將方型藻井在長向束緊。因此，我們可以將整個屋頂結構想像成：短向57條，長向20條的「鋼絲網」抓著1,334塊水泥塊的結構。林同棧用這個簡單的結構原理，架設出面積200米乘96米的龐然大屋頂。因此，林同棧與沙里南採用相同的結構概念，發展出不同的構造工法，林同棧的結構





13



14



15

設計則更為精緻，更為巧妙。營建上，沙里南依賴懸索架設雙T，再澆灌RC弧梁，整個屋頂工程懸空完成（圖13），設計與施工成就非凡。林同棧在施工現場架設了地面升起的臨時支架（圖11），依傳統的施工方式，完成弧梁的澆灌。以林同棧的設計概念，桃園機場應該同樣可以在空中完成施工，這可能受限於當時臺灣的營建技術，殊為可惜。

林同棧設計桃園機場時，熟知沙里南的杜勒斯機場設計，並且仰慕前輩在建築結構上的成就，因此林同棧的桃園機場的設計，明顯流露出積極超越沙里南的企圖。林同棧將懸吊纜索與預力鋼鍵的縱橫結構藏在預鑄混凝土方型藻井之間，簡化構成弧面屋頂的「梁」與「板」的關係，因此林同棧更「經濟」的結構完成難度甚高的懸索設計。尤有勝者，林同棧將弧面屋頂的「主體」--預鑄混凝土方型藻井完整揭露，結構便是主體，結構便是建築，因此林同棧的桃園機場航廈成就卓越。

唐納泰羅與維洛奇歐

林同棧挑戰沙里南的成就，精彩的同儕競技，令人想到文藝復興的一段傳奇。文藝復興三傑唐納泰羅（Donatello, 1386-1466），瑪沙奇奧（Masaccio, 1401-1428），布魯列尼斯基（Filippo Brunelleschi, 1377–1446），分別在雕塑、繪畫與建築的歷史上開啟了全新的視野。唐納泰羅的重要作品The Equestrian Statue of Gattamelata, 1453（圖14），今天仍坐落於義大利帕多瓦（Padua）小鎮的廣場上（Piazza del Santo）。唐納泰羅青銅澆灌的雕像淋漓盡致的刻劃出Gattamelata將軍鋼毅的面容和懾悍的英姿，將軍的坐騎也毫不遜色，肌腱飽滿，昂首前行，提起的左前足，輕輕放在圓球上。三十年之後，唐納泰羅的學生維洛奇歐（Andrea Del Verrocchio, 1435 – 1488）也是文藝復興的大將，繪畫雕塑俱為一時之選，維洛奇歐的學生則更出色，有鼎鼎大名的達文西、波提切利和米蓋朗基羅。維洛奇歐於1483年創造了The statue of Bartolomeo Colleoni雕像（圖15），同樣是青銅澆灌，如今放在威尼斯的Campo SS Giovanni e Paolo廣場。Colleoni將軍風姿綽約，氣宇不凡，比之老師的Gattamelata將軍，不僅無有遜色，且人馬蠢蠢欲動之態更甚於老師。Colleoni將軍的坐騎銜枚闊步，左足前抬，而且高高抬起，

腳下老師的那顆圓球早已不見。維洛奇歐青出於藍的企圖，昭然若揭，馬立三足，重心偏移，維洛奇歐不僅不受制於此，反而借力轉機，傳遞靜態藝術的動態神韻，藝術表達更上層樓。

林同棧雖然沒有侍師沙里南，然而景仰之情溢於言表，桃園機場不僅接續沙里南的偉大傳承，林同棧更上層樓，展現他的企圖之心，心路歷程與文藝復興的傳奇，自有相通之處。第一步最難跨出，難在前無古人，後無來者，茫

茫前景，看見不易，想清楚做出來更難。唐納泰羅的歷史成就不可勝書，將青銅澆灌的技術提升到雕塑創作的應用，是Gattamelata將軍像的藝術成就，是歷史上的一大步，在此基礎上維洛奇歐綻放似錦繁花，雖然賞心悅目，畢竟只是歷史上的一小步。沙里南強調建築的結構性，不僅替換建築的內涵，甚至逼問建築的本質，他的許多作品一再展示建築與結構的反覆辯證，因此他書寫了建築史上重要的一章。以此觀之，林同棧有他的才華，卻缺少建築的理解，成就侷限於結構之內，未若文藝復興的建築大將布魯列尼斯基，能夠始於結構與營建，而終於建築語彙與空間的再敘與重塑。

建築師與結構工程師

林同棧桃園機場航廈的設計以結構為主導，難度高而且有趣，視覺上，是直截了當的結構語言，概念與形式表裡如一，you see what you get，看到的就是你得到的，不多也不少，其中沒有隱藏影射，也沒有慧點機靈。沙里南的杜勒斯機場航廈雖然仍以結構概念為主導，然而態度上與林同棧有所不同，建築師選擇結構邏輯為建築概念，而建築設計服務於結構邏輯，因此結構與建築渾然發生，難以區隔，她是曖昧的化學變化。沙里南本身是一位非常好的結構工程師，他的作品幾乎都承載了建築與結構相互詮釋彼此加持的特質，也是此一特質讓沙里南成為建築史上的一方重鎮。

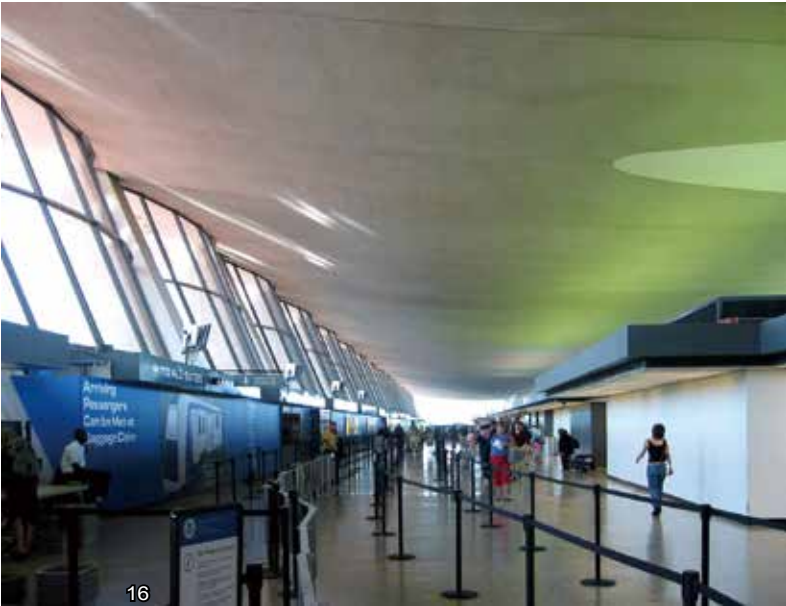
杜勒斯機場航站大廈線條優美，形式窈窕，16對斜柱前高後低，輕巧的提著帆布般的薄屋頂，吊床意象的初衷，躍然建築之上，柱頭處的開口與「倒銜」之態，幫助說明結構意圖，帷幕高窗波浪滾動，重申屋頂的弧線魅力（圖16），結構概念與建築形式合而為一，俐落簡明，力道無窮。凡此，杜勒斯機場在建築上的細膩處理，桃園機場航廈的設計都沒有，後者看起來是硬繃繃的斜柱硬撞上弧面的屋簷，雖然簷邊的板梁前端有優美的線條，後端卻因結構梁的需要重重的垂落，與緊鄰的預鑄混凝土方型藻井，視同陌路（圖18）。下方的玻璃帷幕牆，直條笨重而分割隨意，因此，柱、梁、板、牆的關係幾乎是各說各話，眾說紛紜（圖17）。結構的訓練與建築的訓練終究有所不同，林同棧的建築形式未能表達結構上的創新與突破，殊為可惜。

團紀彥

承接結構傳奇

團紀彥的桃園機場增建案中，兩翼新加的弧型屋面，是簡單的梁柱結構，有別於林同棧的桃園機場航廈和沙里南的杜勒斯機場航廈的屋面結構，後兩者均為纜索懸吊系統（Suspended cable system），纜索懸吊的弧線便是屋面完成後的弧線，團紀彥的弧型屋面來自57支鋼構盒狀的「弧形梁」（Bended steel box beam），然而在結構意義上，每支都是變型的傳統鋼梁（圖19）。鋼梁上下兩端搭接在橫向的圓管型大梁上，每四支弧型鋼梁的載重經由大梁傳導至兩端高矮不同的RC柱上。弧形鋼梁的形式來自結構的有效性，因為弧型鋼梁上的受力均布，材料最經濟，將鋼材的重量減至最少，降低造價，視覺上的整體形式也因此輕巧。「弧型鋼梁」形式的決定與纜索懸吊系統的成型，在力學上的基本原理無異，然而前者受力為力距（Moment），後者受力則為張力（Tension）。弧型鋼梁兩端的支撐，高低不一，跨距約32米，出簷懸挑約6米。弧型鋼梁的結構剖面基本上是方型盒梁（Box beam），實際形狀為倒梯形，上方略寬，下方兩側板成片狀突出，視覺上讓弧梁顯得輕巧。

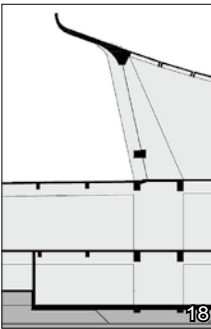
增建的屋面，由平行的弧型鋼梁型塑它的基本弧面，弧型鋼梁間輔以「短梁」，完成整體的弧面結構。短梁狀如片甲，鱗次節比，循序而下，遠視如鱗片覆體，在陽光下閃爍生輝。這些金屬「魚鱗片」由兩部分構成（圖20），主體是工廠預鑄



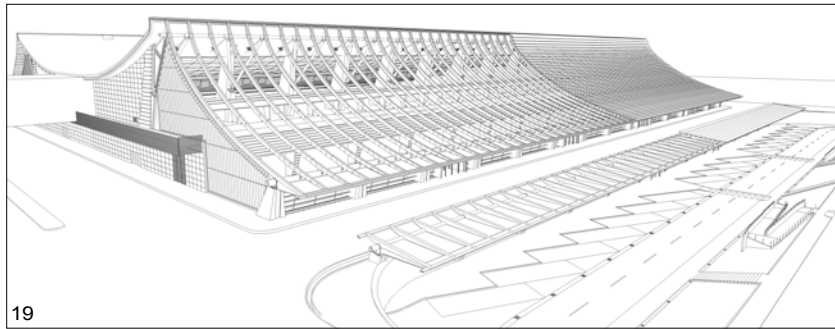
16



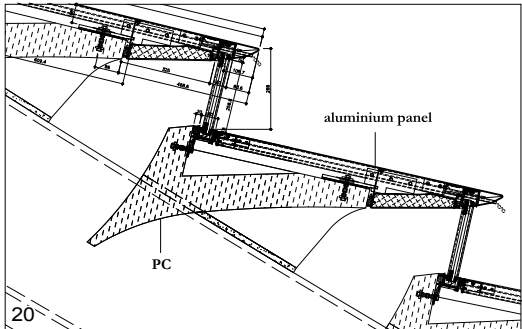
17



18



19



20

的鋼筋混凝土結構體，執行小梁的結構功能，其上與前端覆以輕構造的鋁板包背系統，完成視覺上的優美線條，上下兩片魚鱗板的前簷與後尾間，設置單層清玻璃鋁窗。預鑄鋼筋混凝土版為結構，鋁包版為裝飾，預鑄鋼筋混凝土版兩端各置兩鎖孔，弧梁上預先焊妥的兩支鋼棒穿過鎖孔，以螺帽固定，因此每一片「魚鱗片」由四支螺栓固定於兩側之弧梁上。所有預鑄鋼筋混凝土與弧型鋼梁的接合均為「鋼性接合」，因此整個屋面形成一穩定的模結構（Diaphragm）。

集光調整器

團紀彥新建的弧面屋頂，除了採用了傳承意義深刻的結構系統外，她還負載了重要的外殼功能，基本上，這片屋面是一具自然光線的「集光調整器」，兼具採光與遮陽的功能。她不是先進的智慧互動裝置，確是合理經濟的設計創造，建築師將「設計」工具發揮它最大的功效。全面積的採光設計有基本的設計要求（Design criteria），空調顧問要求從早上10點到下午4點，新屋面覆蓋的區域不可以有直射光線，同時，此時段進入室內的自然光線必須經過至少兩次的「完全折射」，或是拆開成四次反射之後，方允許進入室內，此設計要求可將自然光帶入建築室內的「熱得」（Heat gain）降至最低。依此要求，建築師設計了介於弧型鋼梁之間，如「魚鱗片」狀的遮蔭單元（圖20），魚鱗片前簷深遠，尾設弧型垂板，接收魚鱗片上方鋁板的第四次反射。「魚鱗片」前後局部重疊，經過精密計

算與模擬，找到準確的型狀與尺寸。新屋面由屋脊到屋簷，每片「魚鱗片」的角度微調漸變，以達到完成兩次「完全折射」自然光的任務，同時也滿足屋面排水的需求。夏天的艷陽白日下午，增建空間仍然日光柔和，建築物西北東南走向，因此全年四季在清晨與黃昏，大廳內均可看見由集光調整器所形成的戲劇性光影變化（圖21）。

汙漬

屋面的設計從結構主體到細部設計，精彩有序，整體效果強度十足。然而在開幕後的一年之內，愕然發現弧型屋面下半段的「魚鱗片」上，開始產生汙漬，在銀白色的巨大構造上，歷歷在目，此一瑕疵，對此增建案的名聲傷害極大。固然建築師無法規避責任，然而，這和我們建築專業長年輕忽導水排水和防水有關，因為知識明顯不足，技術無法跟上。在建築技術性設計與營建環境成熟的國家，有層層專業知識與人員的把關，不會讓這種建築設計的基本動作產生如此大的後遺症。以渡邊邦夫參與過的設計案為例，許多構造表現性強，建築細部繁複的設計，例如：東京議事廳（Tokyo Forum），每次拜訪，皆震驚其設計維管之周延，因此歷久彌新。呵護在日本設計營建與保養三位一體的專業環境下，優秀的建築競相發生，更常有的經驗是，拜訪真實世界中的有名建築時，往往在真實世界中帶來的經驗震撼，遠超過美麗圖畫書上的媒傳再現。

檢視桃園機場增建案的汙漬問題，其原因不外乎環境因素與設計因素。環境因素來自於機場每日無數飛機起落，飛機排出之廢氣含有油漬，附著金屬表面，難以清除。設計因素則有幾個層面，首先是在這種含有特殊汙染因子的環境裡，高質感高維修的造型是否適合，如果我們的行事作風如日本人，那麼這個問題可能不是問題。桃園國際機場編列的維管經費，一向很高，因此透過機場行政的有效管理，這個設計仍可成立。

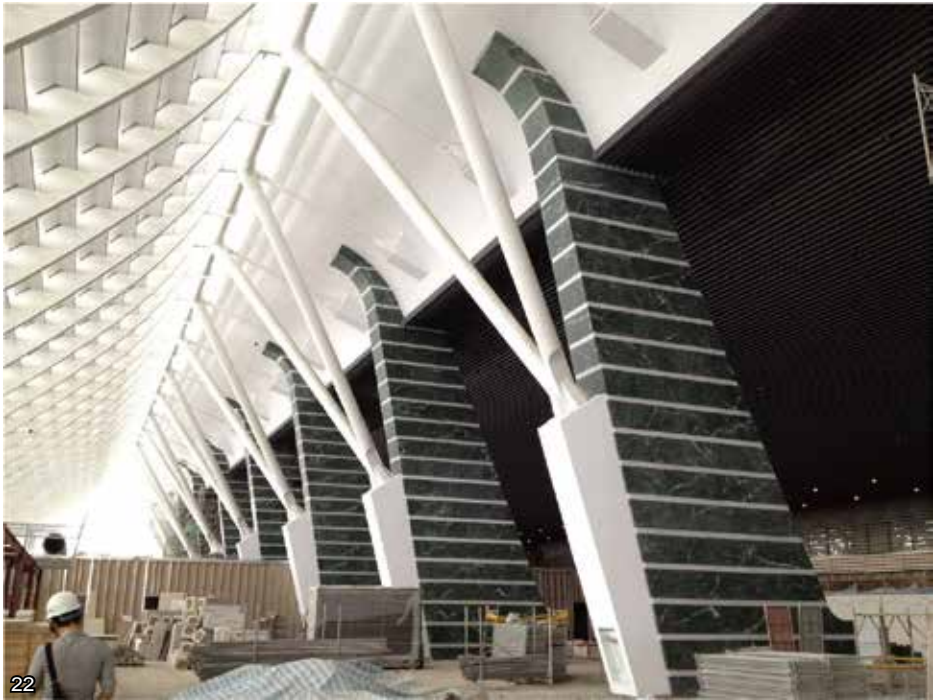


21

團紀彥雖然沒有設計昂貴的機械洗窗設備，然而在設計發展過程中已將人工洗窗需求納入設計。在細部設計的層次上，此一弧型屋面可以視為鋁玻璃帷幕牆系統，因此應該考慮採用「雨簾系統」或稱「等壓系統」（Rain screen system, open joint system），亦即將帷幕牆的防水面撤退至第二線，帷幕牆的表層如雨簾般阻擋掉大部分的雨水，並將風壓在等壓的內部空間（Chamber）內化解掉。基本上，第二線的軟性防水系統被帷幕牆的表層保護著。團紀彥的細部設計是採用傳統的鋁板與矽膠填縫劑表面密合的系統。它的問題有二，矽膠填縫劑朝天，紫外線直射，矽膠硬化只是時間的問題，而它卻是屋面唯一的防水材料，至為脆弱。表面排水是第二個問題，雨水洗過屋面，是造成污髒的主因。通常，排水設計會將屋面分成小區，及早將雨水帶離建築表面。小區內的汙染物有限，滯留累積的機會很小，相對於目前的設計，此一非比尋常的巨大屋面上的所有雨水從屋脊開始一路流瀉到屋簷，然後收集在唯一的天溝中，因此複雜的帷幕系統成了雨水在這長程流瀉過程中的「過濾器」，今天看到的汙漬便是此原理的結果。如果將大屋頂分成若干小區，利用弧型鋼梁上方的室外空間集水排水，大幅減少雨水在鋁板上的行程，則有機會減少汙漬的累積。

天花

沙里南的屋面結構自明性很高，然而如果暴露成為室內天花，將面臨施工品質的問題，亦即每一支弧梁，每一片預鑄雙T的完成面必須光滑平整，上得了檯面（Presentable），這要求在當時幾乎是不可能。預鑄混凝土工法在20世紀初由英國人發明，二戰後的歐陸開始陸續使用，前瞻遠視的柯比易最早將此工法運用於建築，馬賽公寓（1945-1952）在「量產住宅」的概念下誕生，並且搏得「野獸派」（Brutalism，或稱粗獷主義）的令譽，然而馬賽公寓粗糙的水泥質感，實因早期預鑄工



22

法的未盡成熟，柯比易將此無可避免的瑕疵納入設計考慮。1962年完成的杜勒斯機場航廈有清晰的設計概念與設計執行，然而鑒於客觀營建環境的不濟，沙里南將精彩的屋頂構造覆以紗網水泥噴漿的天花，將構造的真實隱藏在裝飾的天花之後，殊為可惜。

林同棧出身結構，他為桃園機場不僅發展出精緻巧妙的結構系統，並且克服了施工品質的試煉，沒有遮掩，沒有裝飾，機場大廳華麗的結構直陳設計的邏輯，並忠實呈現營建的真實，這桌豐盛的宴席足以留名青史，可惜她的成就很少被理解，被珍惜。團紀彥理解既有建築的結構意義，但是選擇將林同棧的結構與構造隱藏，實為一重大失誤。義大利名建築師Carlos Carpa耗時十數載，致力於維儂那古堡美術館（Castelvecchio Museum, Verona）的考古、設計與營建。此美術館的基地是羅馬人的遺址。Scarpa的重修將基地上的建築與土地層層剝開，對位時空，重創的環境展現歷史的痕跡，也展現建築後續的詮釋。團紀彥沒有把握這一重要的設計機會，僅以流行的格柵天花似有若無的表達未盡完全遮蔽的想法，聊備一格，勉強交代，而將此重要議題如此輕輕放下，殊為遺憾（圖22）。當然，這種認知在官方業主與民間氛圍普遍對歷史美學的知識不濟，復以政治正確的僵化思維，很難溝通與實現。

結論

態度明確概念深刻

團紀彥的桃園機場第一航廈增建案，不僅理解由沙里南到林同棧的建築思維，更且尊重林同棧賦予的建築形式。在此重要的結構主題上，團紀彥使用鋼材對位鋼筋混凝土，是綠色思維也是時代精神，以鋼材之輕對位鋼筋混凝土之重，然而，結構的意義與詮釋卻完美接棒，構造的落實則另有巧思。團紀彥從建築的「適當性」出發，無論是賦予形式的結構，或賦予功能的空間，都採取了新舊建築間惺惺相惜，合掌共鳴的態度。面對從沙里南以降的結構傳奇，團紀彥與他的結構顧問渡邊邦夫選擇正面回應，尋找當代的答案，賦予時代的精神。兩位專家與更多的專業團隊共同分享，共同創造。因此桃園國際機場航廈的結果不僅是建築與結構的一次牽手，也是新舊建築的一次聯姻，雙重承諾，魅力無窮。

團紀彥團隊的明確態度與深刻概念，在歷史上有跡可循，就是有名的「第二人定律」（Second man theory）。老大，在你之前早已有人！典故來自佛羅倫斯古城裡的幼兒之家廣場設計（Piazza Ospedale degli Innocenti）（圖23）。文藝復興第一位可能也是最重要的一位建築師，布魯列尼斯基（Filippo Brunelleschi）於1419被任命執行此設計案，她在原孤兒院前面的廣場東側放下著名的九間連續拱的迴廊，迴廊呈現清晰的結



23

24

構性，與優美素面的建築形式，此視覺性格主導了文藝復興建築語法（Grammar）的誕生。關鍵人物則是鼎鼎大名的建築師老聖加洛（Antonio da Sangallo the Elder），他於1520年代在廣場西側放下對稱設計的迴廊，跨過廣場與布魯列尼斯基的迴廊遙相輝映。又過了八十年，建築師卡西尼（Giovanni Battista Caccini）於1601年在北側的老教堂聖母報喜堂（Basilica della Santissima Annunziata）前放置了最後一道迴廊。歷經將近兩百年，三位大建築師完成了佛羅倫斯城裡最美麗的廣場之一。

在既有的資源中做最佳的安排

2004年的「門戶系列國際競圖」中，其它的競爭者都傾向在舊航廈外興建新航廈，團紀彥卻選擇舊航廈增建的基地策略，讓舊航廈重獲新生。團紀彥認為設計要求是要讓當時桃園機場的客流量從每年五百萬提升到一千五百萬人次，因此只要在既有的室外屋頂平台上加裝新屋頂，便可在兼顧環保再利用的原則下達成目標。環境友善的態度一直是團紀彥的設計信念，2005年的愛知博覽會規劃案，他也是倡議基地遷移，減少素地破壞的主要規劃師。

團紀彥的增建案除了有此深刻的宏觀思維外，他提出了更重於形式上的建築認知：節能。亦即，「如何在有限的既有資源中，做最佳的安排」是建築師的重要專業內容。建築師將改建增建方案與鏟平舊建築重建新航廈作了一個計算比較，改建增建方案的CO₂排放量接近新建案的1/10，預算是新建案的1/20，土方移出則接近新建案的1/30。因此團紀彥的「新航廈」是在一個理性的基礎上建構符合客觀條件與環境友善的合理結果。這是務實的挑戰，也是更艱難的挑戰。

在臺灣目前的建築氛圍中，此種建築思維卻普遍不被業界認同，也不被大部分公共工程的單位首長認同。臺灣的重要建築師們，大多數的作品因為沒有重點，沒有訴求，因此往往將建築設計局限於造型設計的格局，不自覺的陷溺於小小美學品味，和惶惶然不知所云的玄學討論上。然而，目前的臺灣，先天資源匱乏，後天經濟疲弱的客觀事實，不容我們建築專業輕忽此一課題。團紀彥的桃園機場航廈增建案平實深刻，同時有其「時代性」與「在地性」的意義，並且成就非凡，實為當下的重要建築典範（圖24）。